

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-091701

(43)Date of publication of application : 06.04.2001

(51)Int.Cl. G02B 1/00
G02B 5/04
G02B 5/18
G02B 5/28
G02B 6/12

(21)Application number : 11-309804 (71)Applicant : KAWAKAMI SHOJIRO
AUTOCLOING
TECHNOLOGY:KK

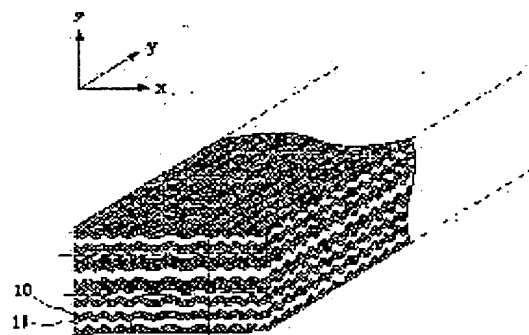
(22)Date of filing : 25.09.1999 (72)Inventor : KAWAKAMI SHOJIRO
ODERA YASUO
SAKAI YOSHITAKE

(54) PHOTONIC CRYSTAL WITH MODULATED GRATING

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve such problems that the latitude for the design of an optical circuit is low and designing a circuit having less sensitivity to manufacture errors is difficult because of the conventional assumption that the basic periodical length and direction of the basic period in the structure of a photonic crystal as the structural material of optical circuit parts are basically constant in the plane or volume of the crystal on the analogy of a natural crystal such as a semiconductor.

SOLUTION: In a two-dimensional or three-dimensional photonic crystal having the feature that it is produced by depositing layers of substances on a substrate, the basic periodical length or the direction of the period of the crystal are not uniform in the relation of the position in the crystal, but are gradually varied or varied stepwise with the position and if necessary, varied in the perpendicular direction to the substrate. Namely, the crystal features a modulated grating. By this technique, wide latitude of processing and latitude of functions are obtained in photonic crystal optical circuit parts.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]	07.08.2001
[Date of sending the examiner's decision of rejection]	
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]	
[Date of final disposal for application]	
[Patent number]	3766844
[Date of registration]	10.02.2006
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of extinction of right]	

(19)日本国特許庁(JP)

(11)特許出願公開番号

特開2001-91701

(P2001-91701A)

(43)公開日 平成13年4月6日(2001.4.6)

(12)公開特許公報(A)

(51)Int. Cl. ⁷	F I	識別記号	チーコード(参考)
G 0 2 B	1/00		2 H 0 4 2
	5/04		2 H 0 4 7
	5/18		2 H 0 4 8
	5/28		2 H 0 4 9
	6/12	N	
審査請求 未請求 請求項の数12 書面 (全10頁)			

(21)出願番号	特願平11-308804	(71)出願人	391005568 川上 彰二郎
(22)公開日	平成11年9月25日(1993.9.25)		宮城県仙台市若林区土樋236番地 愛岩博 マンシヨンプアラオC-09
		(71)出願人	599042599 有限会社オートクロローニング・テクノロジ
			一
		(72)発明者	川上 彰二郎 宮城県仙台市若林区土樋236番地 愛岩博 マンシヨンプアラオC-09

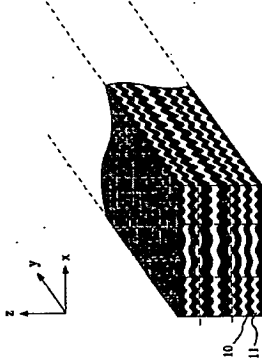
(54)【発明の名称】 格子変調フォトニックス結晶

(57)【要約】

【課題】 従来、光回路部品の構成材料としてのフォトニックス結晶の構造は、半導体で代置される天然結晶とのアナロジーから、基本的な周期長、基本周期の方向が結晶の面内または体積内に基本的に一定であることが前提となっていた。このため光回路の設計の自由度は低く、作製誤差に敏感でない回路を設計するのは困難であった。この問題を解決する。

【解決手段】 基板の上への物質の依附で作製されることを特徴とする2次元または3次元フォトニックス結晶において、結晶の基本的な周期長や周期性の方向を、結晶中の位置に關し一様とせず、位置に關して徐々にまたは緩やかな階段状に変化させ、基板と垂直な方向にも必要により変化させること、即ち格子変調を特徴とする。この技術により、フォトニックス結晶型光回路部品に広範な加工の自由度・機能の自由度を提供する。

最終頁に続く



【特許請求の範囲】

【請求項1】二種以上の誘電体よりなる2次元または3次元周期構造体において、基本的な周期の方向の一つ以上が空間的に徐々に緩やかな階段状に変化している部分を少なくともその一部分に含むことを特徴とする光機能素子

【請求項2】二種以上の誘電体よりなる2次元または3次元周期構造体において、基本的な周期の長さの一つ以上が空間的に徐々に緩やかな階段状に変化している部分を少なくともその一部分に含み、使用波長域が当該構造の伝搬域に属することを特徴とする光機能構造

【請求項3】二種以上の誘電体よりなる板状3次元周期構造体において、基本的な周期の方向の一つ以上が空間的に徐々に緩やかな階段状に変化している部分を少なくともその一部分に含むものを、自己クロローニング法を少なくともその一部において用いて作製することを特徴とする光機能素子の作製方法

【請求項4】二種以上の誘電体よりなる3次元周期構造体において、基本的な周期の長さの一つ以上が空間的に徐々に緩やかな階段状に変化している部分を少なくともその一部分に含み、使用波長域が当該構造の伝搬域に属することを特徴とする構造を、自己クロローニング法を少なくともその一部において用いて作製することを特徴とする光機能構造の作製方法

【請求項5】二種以上の誘電体よりなる板状3次元周期構造体において、面内の基本的な周期の二つの方向の少なくとも一つで、基本的な周期の長さを空間的に徐々に緩やかな階段状に変化させることにより、面に交わる方向の光の透過率ないし反射率の波長依存性が面内で変化していることを特徴とする波長選択フィルタ

【請求項6】二種以上の誘電体よりなる板状3次元周期構造体において、面内の基本的な周期の二つの方向の少なくとも一つで、基本的な周期の長さを空間的に徐々に緩やかな階段状に変化させることにより、面に交わる方向の光の透過率ないし反射率の波長依存性が面内で変化していることを特徴とする光素子を自己クロローニング法を少なくともその一部において用いて作製することを特徴とする波長選択フィルタの作製方法

【請求項7】面内にそれぞれ二つある基本的な周期の長さと基本的な周期の方向のそれぞれ一つ以上が面内で空間的に徐々に緩やかな階段状に変化していることにより、同一構造中に異なるスーパープリズム作用をもつ複数の領域があることを特徴とする2次元光導波路または板状3次元周期構造体または内部に面平行形の導波路を有する板状3次元周期構造体

【請求項8】面内にそれぞれ二つある基本的な周期の長さと基本的な周期の方向のそれぞれ一つ以上が面内で空間的に徐々に緩やかな階段状に変化していることにより、同一構造中に異なるスーパープリズム作用をもつ複数の領域があることを特徴とする板状3次元周期構造

造体または内部に面平行形の導波路構造を持つ板状3次元周期構造体を、自己クロローニング効果を少なくともその一部において用いて作製することを特徴とする光機能素子の作製方法

【請求項9】二種以上の誘電体よりなる2次元または3次元周期構造体において、光の進行する方向に交わる基本的な周期の方向の一つ以上において、基本的な周期の長さを空間的に徐々に緩やかな階段状に変化させることにより導波すべき領域を周囲の周期構造と異なる作用をもたせることを特徴とする光導波路

【請求項10】二種以上の誘電体よりなる板状3次元周期構造体において、光の進行する方向に交わる基本的な周期の方向の一つ以上において、基本的な周期の長さを空間的に徐々に緩やかな階段状に変化させることにより導波すべき領域を周囲の周期構造と異なる作用をもたせる光導波路を自己クロローニング効果を少なくともその一部において用いて作製することを特徴とする光機能素子の作製方法

【請求項11】二種以上の誘電体よりなる2次元または板状3次元周期構造体で、面内の二つの基本的な周期の方向のうち、光の進行方向と垂直または角度をなすもの一つ以上が徐々に緩やかな階段状に変化している面内光導波路およびリング状光共振器を自己クロローニング効果を少なくともその一部において用いて作製することを特徴とする光機能素子の作製方法

【請求項12】二種以上の誘電体よりなる板状3次元周期構造体で、面内の二つの基本的な周期の方向のうち、光の進行方向と垂直または角度をなすもの一つ以上が徐々に緩やかな階段状に変化している面内光導波路およびリング状光共振器を自己クロローニング効果を少なくともその一部において用いて作製することを特徴とする光機能素子の作製方法

【発明の詳細な説明】
【0001】
【発明の技術】本発明は、光波回路素子に関する応用の極めて広い技術に関するものであるため、本発明全体に

対応する従来技術を見つけることは難しい。それゆえ、本発明の平歩型フィルタへの応用、プリズムへの応用、導波路への応用、曲がり導波路への応用のそれぞれに関する従来技術を説明する。

【0003】誘電体多結晶に垂直または斜めに入射する光の干渉作用を利用する波長フィルタは重要な光学部品である。波長分離多重通信には波長幅1nm程度の狭帯域性が要求される。複数の波長を利用するので、別々に作製したフィルタをそれぞれ別の波長で用いる必要があり、システム価格の上昇を招く。また狭帯域のフィルタには高直な絶縁の制御が必要とされるので、製品の良品

中は低いという問題もある。
【0004】2次元または3次元的に周期的な構造をもつ光導波回路素子はフォトニック結晶と呼ばれ、後述する(3)の技術には、導波路を形成するために、フォトニック結晶の成長を一時中断し、別のプロセスを施さなければならぬという問題点がある。

【0005】フォトニック結晶における分散性、異方性を利用して、屈折角が光の波長に対して極めて敏感に変化する「スーパープリズム効果」が近年報告されている(H. Kosaka et al., "Superprism phenomenon in photonic crystals", Physical Review B, vol. 58, no. 16, p. R10096, 1998)。これは波長分割多重光通信システムにおいて利用価値が高い。フォトニック結晶の内部から外部へ、あるいは逆方向へ光のビームあるいは波束が境界と交叉する時の折れ曲がり角が著しい波長依存性を持つ効果をスーパープリズム効果と呼ぶ。

【0006】スーパープリズムにおいては、材料の誘電率中、周期構造の単位セルの寸法なしい形状が設計と一致しないとき、ずれが小さくても波長特性の急峻さのため、プリズムの示す屈折率は設計された所望の特性から大きくずれてしまう。これは製造時の良品率が低いことを意味する。

【0007】フォトニック結晶に設けた導波路として公知のもの代例は以下の通りである。(1)半導体層の列からなる2次元フォトニック結晶から、柱を行列状に並べた導波路のコアとしたもの(A. Mekis et al., "High transmission through sharp bends in photonic crystal waveguide", Physical Review Letter, vol. 77, no. 18, p. 3787, 1996)、(2)自己クロッシング型3次元フォトニック結晶中に成長させた導波路列をコアとしたもの(O. Hanai et al., "Propagation of light beams along line defects formed in a Si/SiO₂ three-dimensional photonic crystals: Fabrication and observation", Applied Physics Letters, vol. 74, no. 6, p. 777, 1999)、(3)同じく自己クロッシング型3次元フォトニック結晶中にリングラフとドライエッチプロセスにて形成した基板面平行型導波路(川上ほか、特開平10-335758号、図4)

(4) (1)の技術では導波路の幅がフォトニック結晶の1周期分であるため、伝搬するモードの界の広がりがあり、コアの面積を任意に広く作図できるという利点がある一方で、導波路の長さを結晶の厚さ程度、すなわち数μm程度までしか長くできないという問題点がある。また(3)の技術には、導波路を形成するために、フォトニック結晶の成長を一時中断し、別のプロセスを施さなければならぬという問題点がある。

【0008】またフォトニック結晶中の曲がり導波路については、Mekisらの前述の構造、図8の図2次元型導波路構造(T. Baba et al., "Observation of light propagation in photonic crystal optical waveguides with bends", Electronics Letters, vol. 35, no. 8, p. 654, 1999)が知られている。それぞれ90°の無損失折れ曲がり、60°の有損失折れ曲がりを実現できていることを示しているが、それらはいずれも折れ曲がり角における大きい反射戻り光の発生を避けられない。折れ曲がり角を小さくして反射を低減することも周期構造の制約上不可能である。

【0009】説明が解決しようとする課題 基板上に作製され、フォトニック結晶で構成される光素子において、基板面内に直交するx-yを、それと直交する厚さ方向にz軸をとる。なおこの座標系は以下一貫して用いる。フォトニック結晶の各部番が示す局所的な平均的光学特性をx, y, zの関数として任意に制御することができ、なはいし高い分散性/プリズム機能を持つ導波路や位置同期型の半導体フィルタなど多種多様な光機能を実現することができ、本発明はこれらの課題に答えるものである。

【0010】課題を解決するための手段 フォトニック結晶を形成するもともとは標準的な方法は次の通りである。基板の上に2次元的に周期的に凹凸をリングラフおよびエッチングで作製する。その凹凸パターンは基本的に凹凸を環状であり、導波路形成のためその中の数個の凹凸を除いたり、直線(線分、半直線を含む)の形やその他の組み合わせの形状の凹凸を除いたりすることがなされることである(O. Hanai et al., "Propagation of light beams along line defects formed in a Si/SiO₂ three-dimensional photonic crystals: Fabrication and observation", Applied Physics Letters, vol. 74, no. 6, p. 777, 1999)、(3)同じく自己クロッシング型3次元フォトニック結晶中にリングラフとドライエッチプロセスにて形成した基板面平行型導波路(川上ほか、特開平10-335758号、図4)

(4) (1)の技術では導波路の幅がフォトニック結晶の1周期分であるため、伝搬するモードの界の広がりがあり、コアの面積を任意に広く作図できるという利点がある一方で、導波路の長さを結晶の厚さ程度、すなわち数μm程度までしか長くできないという問題点がある。

る。即ちBCを含む二つを取るか、あるいはBC, ADの二つを基本的な周期に選んでもよい。要するに、空間全体で周期が一定であるか変化しているかに着目している。基本的な周期の方向、長さの定常性にはある程度幅がある。また、3次元フォトニック結晶を作製する場合、自己クロッシング法、野田ら、Flemingらの周知の方法に共通に、センサーストーム級の基板上にマイクロメートル級の厚さの周期構造を形成するので、これを板状フォトニック結晶と称することにする。板の面中の方向を面内または面平行方向、それに垂直な方向を面垂直方向とよぶこととする。

【0014】本発明の方法により獲得される光回路素子機能の自由度の広さを以下の実施例によって順次説明する。

【0015】

【実施例1】図3は本発明による、通過波長がx方向に連続的に変化する半導体フィルタの構成図である。このフィルタは、Si(屈折率n=3.5)とSiO₂(n=1.5)2からなるフォトニック結晶部分でSiO₂基板3とSiO₂板4とに挟まれた構造を持つ。自己クロッシング法により形成され、y方向には一定な構造を持つ。交互多角形部分はz方向にxによる周期性を持つ。また一部のSi層の厚さを他のSi層に比べ厚く、具体的には0.9Lzとし、キヤビティ5を形成している。x方向の周期はxに周期的に一定と見なされるが、xの広い範囲にわたっては徐々に階段状に変化しており、x=X、ではLx=0.9Lz、x=X₁, X₂, X₃ではそれぞれLx=Lz, 1.1Lz, 1.2Lzである。x断面におけるフォトニック結晶の1周期の形状を図4に示す。この例ではSi層1とSiO₂層2の厚さはそれぞれ、3Lz, 0.7Lzである。電界がy軸に平行な光がz方向に入射したときのこの構造全体の光透過率を波長の関数として図5に示す。このように半導体フィルタの透過率を空間的に変化するとは次のような利点を生む。

(1) 光透過率の波長の帯域フィルタにおいて、通過帯域が所望の範囲で配置される組み合わせを導くことができる。本技術によれば、基板上に周期構造で複数の利用領域を設ければ、1枚の基板上に一回の工程で所望のフィルタ群を形成することが容易にできる。

(2) 光透過率において極めて狭い通過帯域を持つフィルタ(例えば帯域幅=1/2000)が近接要求されている。このようなフィルタの作製においては不良品の割合が極めて高い。本技術を適用することによって、所定の波長に通過域を持つような基板上の適切な位置を選び出し確実に良品を得ることができ。

(3) 広帯域の光ビームを本技術による半導体フィルタでx方向に指向することにより、通過波長が連続的に変化する。これを分光計測期の光源として利用すること

とができる。
【0016】また、図3は説明の便のためのものであつて、例えば上面図を図5に示すように三角形パターンとし、基本周期長、基本周期を空間的に連続に変化させることにより、個々の単位周期を正方形に極めて近して入射光の電界の向きによらずに偏光をさせることができると、とき、利用される領域を図5のように長方形領域6のように限定してもよい。また図7のようにx方向の周期をy方向の周期とはほぼ一致する範囲で変化させ、特性の偏光方向依存性を十分小さくすることもできる。

【0017】【実施例2】3次元フォトニック結晶においては、いわゆるスーパープリズム効果が実験的に見出されており、この効果は理論的には2次元フォトニック結晶でも3次元フォトニック結晶でも生ずることが知られており、即ち、基板上に作製された3次元フォトニック結晶に、外縁から光を基板に平行に入射させて、フォトニック結晶内にある屈折角を持って伝わる光といたとき、例えば光波長が1%だけ連続的に変わるときは屈折角を60°も連続的に変化させることができる。これは通常のプリズムよりも2〜3桁高い波長分散効果である。ゆえに光波長に敏感な波長分散素子を得ることができる。

【0018】図8は本発明を上記三角格子を持つスーパープリズムに適用したものである。基板上に三角形または四角形の孔を三角格子状に作製し、その上に屈折率異なる2種類の誘電体を自己クロッシング法により交互に積層して3次元フォトニック結晶を作製する。三角格子のx方向周期長はあるyの値の付近でほとんど一定で右図の光ビームに対してはy方向に一定周期構造として働くが、yの値と共にx方向周期長が徐々に変化する。格子波源のない従来のスーパープリズム構造においては、格子波源の中心を連続的に選択することが困難に現れる。図8の構造においては、光ビームの入射位置を選択することにより、プリズム効果の顕著に現れる波長領域の中心を連続的に選択することができる。一個の素子マシンステムの中心波長の設計に柔軟性を与えることができると共に、作製技術の側からみると作製精度を光ビームの入射位置の選択により補填できる比折をも持っている。即ちA付近に入射した光はλ₀、Aからλ₀の範囲で波長変化に敏感であり、B付近に入射した光はλ₀からλ₀+Δλの範囲で同じく敏感である。図8中の符号7、8、9はそれぞれ波長λ₀、λ₀+Δλ、λ₀+Δλの光線を示している。またそのある範囲に光を閉じ込める平板状の導波構造（後述）を併せ用いることにより、中心波長がy方向に連続的に変化する導波型スーパープリズムを得ることができ、入出力間で他の光導波路と結合して用いるとき高い結合効率を得る。

【0019】【実施例3】図9には、本発明を3次元フォトニック結晶型導波路に適用した例を示す。図9にお

て、10、11はそれぞれ高屈折率材料（例えばSiO₂）を示す構造を自己クロッシング法により作製し用いた。
【0022】また図12に示すように3次元フォトニック結晶中の曲りチャネル導波路を形成することでもできる。このような曲り導波路において、フォトニック結晶の基本周期長は1μmの数の1以下であり、光回路の小変化のために必要とされる曲り半径は10μmから100μm程度であるから、曲りの内側部と外側部の曲りに沿う方向の周期長との差はさほど大きくない。また、図14、図15において、半波方向の周期長を他のクラッド部分の半波方向周期長より小さくした側壁を付加して、その部分の光効屈折率を低下させることにより放射を抑制することができる。

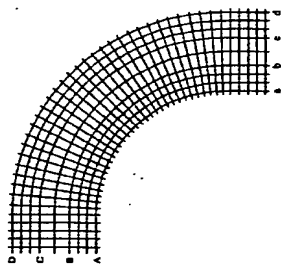
【0023】曲り導波路を平面内で一巡させてループを作りリング共振器を形成することができることは言うまでもない。本例では3次元フォトニック結晶について説明したが、2次元導波路で同じ考え方が適用できるのは勿論である。

【0024】
【発明の効果】請求項1、2、3、4により、フォトニック結晶の空間的に緩やかな格子変調を利用して伝光的・平均的な媒質定数に傾斜をもたせることができ光回路の設計自由度が大幅に増す。請求項5、6により透過波り位置により同調できるスーパープリズムが得られる。請求項9、10、11、12により、作製が容易・光ファイバとの結合が容易・曲がりによる放射・反射がないフォトニック結晶形導波路が得られる。
【図面の簡単な説明】
【図1】 格子変調型周期構造の一例を示す説明図。
【図2】 格子変調型周期構造において、基本周期の取り方の例を示す説明図。
【図3】 第1の実施例である干渉フィルタの構造を示す説明図。
【図4】 第1の実施例である干渉フィルタを構成する周期構造の単位構造（ユニットセル）を示す説明図。

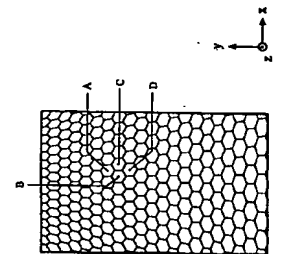
図。
【図2】 格子変調型周期構造において、基本周期の取り方の例を示す説明図。
【図3】 第1の実施例である干渉フィルタの構造を示す説明図。
【図4】 第1の実施例である干渉フィルタを構成する周期構造の単位構造（ユニットセル）を示す説明図。

図。
【図5】 第1の実施例である干渉フィルタの透過スペクトルを示す説明図。
【図6】 第1の実施例である干渉フィルタの動作から、偏波依存性を除去する方法の一例を示す説明図。
【図7】 第1の実施例である干渉フィルタの動作から、偏波依存性を除去する方法の一例を示す説明図。
【図8】 第2の実施例であり、本発明をスーパープリズムに適用した構造を示す説明図。
【図9】 第3の実施例であり、本発明を3次元フォトニック結晶型導波路に適用した構造を示す説明図。
【図10】 図9の導波路構造の作製に用いられる基板の形状の一例を示す説明図。
【図11】 第4の実施例である格子変調型曲がり導波路の構造を示す説明図。
【図12】 図9の導波路構造における、導波モードの電界分布の数値計算例を示す説明図。
【図13】 図9の構造を簡略化したチャネル型導波路を示す説明図。
【図14】 図9の導波路構造の作製に用いられる基板の形状の一例を示す説明図。
【図15】 第4の実施例である格子変調型曲がり導波路の構造を示す説明図。
【図16】 第4の実施例である3次元フォトニック結晶中の格子変調型曲がり導波路の構造を示す説明図。
【符号の説明】
1 Si
2 SiO₂
3 SiO₂基板
4 SiO₂板
5 キャベティ
6 限定された利用領域
7 波長λ₀+Δλの光線の軌跡
8 波長λ₀の光線の軌跡
9 波長λ₀+Δλの光線の軌跡
10 高屈折率材料（例えばSi）
11 低屈折率材料（例えばSiO₂）
12 SiO₂
13 TiO₂
14 基板上の孔
15 基板

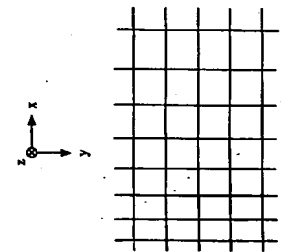
【図1】



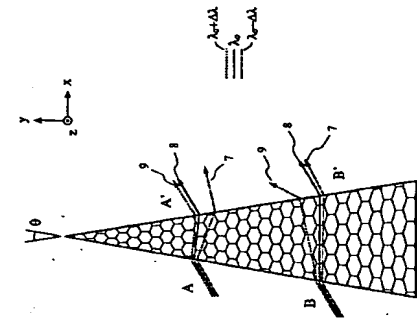
【図2】



【図7】



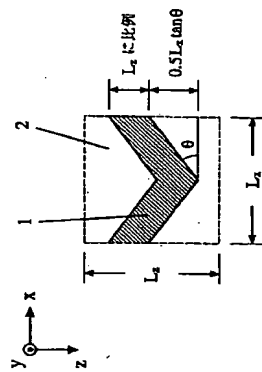
【図8】



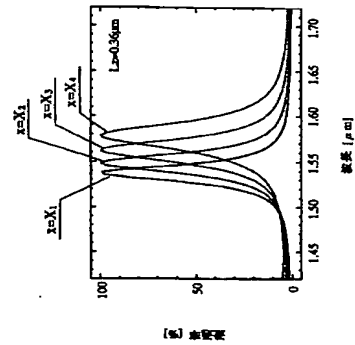
【図3】



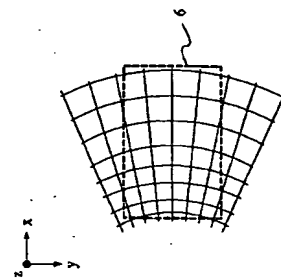
【図4】



【図5】



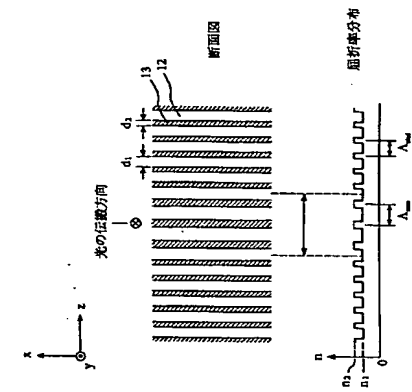
【図6】



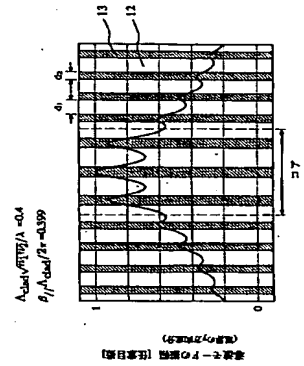
【図9】



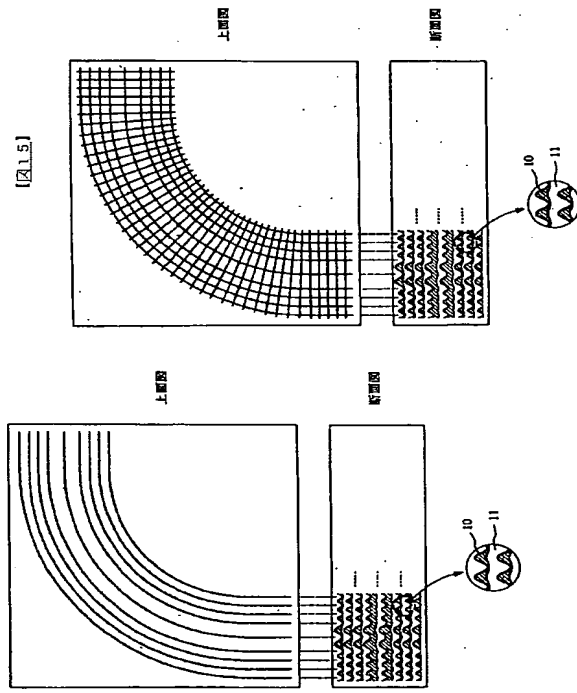
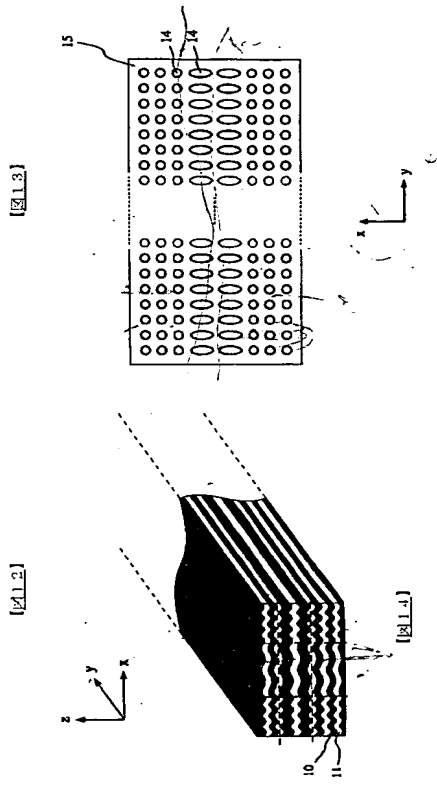
【図10】



【図11】



Fターム(参考) 2H042 CA07
2H047 KA02 KA08 KA11 KA12 PA01
QA04 TA00 TM43
2H048 GA13 GA62
2H049 AA37 AA59 AA62



フロントページの続き

(72)発明者 大寺 康夫
宮城県仙台市青葉区土樋1丁目6番15号
コーポ金子201号

(72)発明者 酒井 純剛
宮城県仙台市青葉区八幡6丁目1番2号
麗音ハイツ103号

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.